Cane Medical Library
1937
STANFORD UNIVERSITY
JAN 16 1939
LIBRARY

Aus der Chirurgischen Universitätsklinik zu Göttingen
Direktor: Prof. Dr. Stich

Knochenabbau unter der Einwirkung von Kurzwellen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität zu Göttingen

vorgelegt im März 1937

von

Heinrich Rinne
aus Hohenrode

GÖTTINGEN 1937
BUCHDRUCKEREI FERDINAND PIEPER / WEENDE-GÖTTINGEN

Berichterstatter: Doz. Dr. med. K. E. Herlyn
Mitberichterstatter: Prof. Dr. R. Stich

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Juni 1937

Physikalische Grundlagen und Wirkungsweise elektrischer Wellen von 3 bis 600 m Wellenlänge.

Elektrische Wellen von 3 bis 30 m Wellenlänge werden in der Medizin unter der Bezeichnung „Kurzwellen" therapeutisch verwendet. Längere Wellen bis etwa 600 m gelangen in der Diathermie zur Anwendung.

Zur Erzeugung solcher elektrischer Wellen stehen uns zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Es sind dieses die früher ausschließlich benutzte „Funkenstrecke" und die erstmalig in den Röhrensendern verwendete „Elektronenröhre".

Um elektrische Schwingungen herzustellen, bedient man sich eines Kondensators, der ein gewisses Fassungsvermögen von elektrischer Ladung (Kapazität) hat. Bringt man an jede der entgegengesetzt elektrisch geladenen Kondensatorplatten einen Leiter und nähert die Enden dieses Leiters einander, so springt bei einer gewissen Entfernung ein Funken über. Während der Dauer des Funkenüberganges stehen die beiden Drähte in leitender Verbindung. Es kann nun ein Ausgleich der beiden entgegengesetzten Ladungen erfolgen. Der Luftraum zwischen den beiden Drahtenden wird als „Funkenstrecke" bezeichnet.

Durch das Überspringen eines solchen Funkens wird das Gleichgewicht der Elektronen auf den Kondensatorplatten und in den Leitern gestört, sie schwanken wie die Luftteilchen bei einem Tone hin und her, und es entstehen in der Luft und in den Drähten, zwischen denen der Funke übergeht, elektrische Schwingungen.

Die Funkenstrecke, die Leiter mit ihrer Selbstinduktion und der Kondensator stellen einen geschlossenen elektrischen Schwingungskreis dar.

Die elektrischen Schwingungen bleiben nicht auf den elektrischen Schwingungskreis beschränkt, sondern sie pflanzen sich als transversale Aetherschwingungen wellenförmig mit Lichtgeschwindigkeit fort.

Man ist in der Lage, aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Zahl der Schwingungen in der Sekunde die Wellenlänge zu berechnen.

Die durch Funkenstrecken in einem Schwingungskreis erzeugten elektrischen Schwingungen haben den Nachteil, daß sie nicht gleichmäßig weiterschwingen, sondern mit dem Funken selbst abklingen und

erlöschen. Erst beim Überspringen des nächsten Funkens werden neue Schwingungen erzeugt. Man bezeichnet Schwingungen, deren Ausschläge sehr rasch kleiner werden, als „gedämpfte Schwingungen".

Um eine hohe Schwingungszahl in der Sekunde zu erhalten, ist es nötig, die Pausen zwischen den einzelnen Entladungen möglichst zu verkleinern, also eine große Anzahl Funken in der Sekunde überspringen zu lassen.

Da jeder Entladung eine Aufladung des Kondensators vorauszugehen hat, muß man die Kondensatoren sehr klein wählen, weil kleinere Kapazitäten sich schneller aufladen als größere.

Allein durch die Wahl kleiner Kapazitäten kann man sehr hohe Schwingungszahlen nicht erzielen. Das liegt vor allen Dingen daran, daß beim Überspringen des Funkens die Luft zwischen den Polen der Funkenstrecke erhitzt wird. Da erhitzte Luft im Gegensatz zur kalten gut leitet, werden die Kondensatorplatten solange kurzgeschlossen, bis die Luft zwischen den Polen der Funkenstrecke sich wieder abgekühlt hat. Dadurch wird eine schnelle Aufladung des Kondensators auch bei kleinen Kapazitäten verhindert.

Diese Schwierigkeiten werden zum Teil durch die Anwendung der sogenannten Löschfunkenstrecke überwunden. Die Pole dieser Funkenstrecke bestehen aus zwei in einem Abstande von $^1/_{10}$ mm parallel gegenüberstehenden Kupferplatten. Um diesen kleinen Abstand ohne Berührung der beiden Platten zu erhalten, sind zwischen den Platten Glimmerplättchen eingeschaltet, die den mittleren Teil der Platten, welcher für das Überspringen des Funkens bestimmt ist, frei lassen. Gewöhnlich werden mehrere solcher Funkenstrecken hintereinander geschaltet. Zwischen den Platten und zu beiden Seiten sind mit Wasser gefüllte Metallgefäße eingebaut, die der Abkühlung der Elektroden dienen.

Die Vorteile dieser technischen Anordnung liegen darin, daß die schmale Luftschicht zwischen den Platten durch verhältnismäßig kleine Spannungen überbrückt werden kann, so daß eine sehr starke Aufladung, wie sie bei der alten Funkenstrecke zur Überwindung des großen Luftabstandes erforderlich war, nicht mehr notwendig ist. „Kaum hat die Spannung der Kondensatorbeläge eine gewisse Höhe erreicht, schlägt schon ein Fünkchen über und entladet den Kondensator. Ein neuerlicher kleiner Anstieg löst ein zweites Fünkchen aus usw. Der Entladungsvorgang, der früher in einem einzigen großen Funken konzentriert war, ist aufgeteilt in zahlreiche Partialentladungen oder Mikrofunken. Damit wird die Zahl der Funken, und da jeder Funken den Impuls für einige Schwingungen abgibt, auch die Zahl der Schwingungsgruppen beträchtlich vermehrt." (Kowarschik)

Mit Hilfe der Löschfunkenstrecke besteht die Möglichkeit, Schwingungen bis 100 Millionen in der Sekunde zu erzeugen; das entspricht

elektrischen Wellen von 3 m Wellenlänge. Fast ausschließlich finden die mit der Löschfunkenstrecke erzeugten Ströme Anwendung in der Diathermie.

Die zweite Möglichkeit zur Erzeugung elektrischer Schwingungen ist die sogenannte Elektronenröhre, mit deren Hilfe man in der Lage ist, „ungedämpfte Schwingungen" zu bekommen. Unter ungedämpften Schwingungen verstehen wir Schwingungen mit gleichbleibender Schwingungshöhe und gleichbleibender Wellenlänge.

Die Elektronenröhre besteht aus einer hochevakuierten Röhre, in der sich auf der einen Seite ein durch eine Batterie heizbarer Faden, die Glühkatode befindet. Ihr gegenüber liegt eine als Anode bezeichnete Metallplatte. Zwischen Anode und Kathode ist ein Metallsieb, das Gitter oder auch Gitterelektrode eingebaut. Die Kathode ist außer mit der Heizbatterie noch mit dem negativen Pol, die Anode mit dem positiven Pol einer Batterie verbunden.

Wird der Stromkreis geschlossen und gleichzeitig durch die Heizbatterie die Kathode zum Glühen gebracht, so wandert ein Strom von Elektronen von der Kathode zur Anode.

Versieht man das zwischen Kathode und Anode liegende Gitter mit einer Ladung, so werden bei positiver Ladung die aus der Kathode austretenden Elektronen beschleunigt, sie treten mit größerer Geschwindigkeit durch das Gitter hindurch. Wenn aber das Gitter negativ geladen ist, so übt es eine hemmende Wirkung auf die austretenden Elektronen aus, weil es sie ja durch Abstoßung zurücktreibt, da die von der Kathode ausgesandten Elektronen auch eine negative Ladung besitzen. Durch abwechselnde positive und negative Ladung des Gitters kann man den Anodenstrom steuern.

Wird nun in den Stromkreis Batterie-Kathode-Anode ein Schwingungskreis eingeschaltet, also eine Verbindung von Kapazität und Selbstinduktion, so wird durch Schließen des Batteriestromes dieser Kreis zum Schwingen gebracht.

Läßt man diese Schwingungen durch Induktion (Beim Öffnen und Schließen eines elektrischen Stromes entsteht in einem in der Nähe befindlichen geschlossenen Leiter ein augenblicklicher elektrischer Strom.) auf das Gitter einwirken, das durch eine Verbindung mit der Kathode auch wieder einen geschlossenen schwingungsfähigen Kreis bildet, so entstehen in diesem Gitterkreis selbst Schwingungen, die das Gitter abwechselnd positiv und negativ aufladen. Es erfolgt demnach eine gegenseitige Beeinflussung dieser beiden Schwingungskreise. Ein Abklingen der Schwingungen wird dadurch verhindert, daß von der im Anodenstromkreis liegenden Batterie die nötige Energie fortlaufend nachgeliefert wird.

Wir erhalten auf diese Weise mit Hilfe der Elektronenröhre ungedämpfte Schwingungen. Mit diesen Röhren kann man außer sehr

schnellen Schwingungen auch hohe Leistungen erzielen, da die Leistung lediglich von der Beschaffenheit der Röhre, dem Widerstand und der Elektronenaussendung der Glühkathode abhängig ist.

Wie wir schon erwähnten, werden zur Erzeugung sehr schnell wechselnder elektrischer Ströme die Funkenstrecke und die Elektronenröhre verwandt.

Bei der therapeutischen Anwendung wird aus Gründen der Sicherheit der Mensch nicht in diesen Schwingungskreis eingeschaltet, da die unmittelbare Nähe der niederfrequenten Hochspannungszuleitungen bei irgendwelchen Zwischenfällen den Menschen gefährden kann. Man verwendet deshalb noch einen zweiten Schwingungskreis, den sogenannten sekundären Schwingungskreis, der durch Induktion vom primären Schwingungskreis zum Mitschwingen angeregt wird. Man sagt dann die beiden Schwingungskreise sind induktiv gekoppelt.

In dem Sekundärkreis erhalten wir die größte Leistung dann, wenn der Sekundärkreis auf den Primärkreis abgestimmt ist, d. h. wenn die Eigenschwingung des sekundären Schwingungskreises mit der des primären Schwingungskreises übereinstimmt, also bei Resonanz.

Legt man in den sekundären Schwingungskreis zwei sich parallel gegenüberstehende Kondensatorplatten, so findet „der Leitungsstrom im nichtleitfähigen Medium zwischen den Platten (z. B. Luft) gleichsam seine Fortsetzung durch die elektrischen Kräfte, die als Fernwirkungen von den auf den Platten angehäuften Elektronen ausgehen und das Medium „kapazitiv" durchdringen. Man sagt deshalb: der Strom fließt durch den Kondensator hindurch, obwohl es nur elektrische, keine Elektronen mit sich führende Kräfte sind, die das elektronen-undurchlässige Medium (Dielektrikum) durchdringen". (Fritsch und Schubert) Diesen Strom bezeichnet man im Gegensatz zu dem Leitungsstrom als kapazitiven Strom oder als Verschiebungsstrom. Den Raum, den diese elektrischen Kräfte durchdringen, nennt man Kondensatorfeld.

Da im Augenblick der Aufladung bzw. der Entladung der Kondensatorenplatten ein elektrisches Feld zwischen den Platten entsteht, so kann man eine Verstärkung dieses Feldes unter anderem dadurch erreichen, daß man die Zahl der Auf- und Entladungen, also der Stromstöße, in der Sekunde erhöht. Mit anderen Worten: die Stärke des elektrischen Feldes nimmt mit der Schwingungszahl zu, steht demnach im umgekehrten Verhältnis zur Wellenlänge.

Daraus folgt, daß die Behandlung im Kondensatorfeld erst in dem Augenblick möglich war, als man mit Hilfe der Elektronenröhre sehr schnell schwingende Ströme großer Leistungen zu erzeugen vermochte.

Mit der Funkenstrecke konnte man wohl sehr kurze Wellen erhalten, die Leistungen waren doch derart gering, daß sie für die therapeutische Ausnutzung im Kondensatorfeld nicht geeignet waren. Man verwandte daher längere Wellen, die aber kein genügend starkes Kraft-

feld zwischen den Kondensatorplatten erzeugten, so daß man, um eine Wirkung zu erzielen, die Platten unmittelbar an den Körper anlegen mußte, der jetzt von den Strömen durchflossen wurde. Dennoch hatten die Ströme eine so hohe Schwingungszahl, (1 000 000 bis 500 000 Schwingungen = 300 bis 600 m Wellenlänge) daß sie bei direkter Durchleitung durch den Körper keine Reizwirkungen hervorriefen. Diese Anwendungsart bezeichnet man als Diathermie.

Beim Durchfließen des Körpers wird wie in jedem Leiter ein Teil der elektrischen Energie je nach der Größe des Widerstandes in Wärme umgewandelt. Der menschliche Körper selbst stellt keinen einheitlichen Widerstand dar. Jedes Gewebe besitzt eine andere Leitfähigkeit und damit einen anderen Widerstand. Den höchsten Widerstand hat der Knochen, den niedrigsten haben die Körperflüssigkeiten.

Bei angelegten Elektrodenplatten müßte sich theoretisch der Knochen mit seinem höchsten Widerstande am stärksten erwärmen. Praktisch tritt dieses nicht ein, da der Knochen von gut leitfähigem Gewebe umgeben ist. Dadurch, daß der Strom immer den Weg des geringsten Widerstandes wählt, fließt er nicht durch, sondern um den Knochen. Mengenmäßig fließt mehr Strom durch die den Knochen umgebenden Weichteile. Bekanntlich nimmt die Erwärmung mit dem Quadrat der Stromstärke zu. Somit muß praktisch die größte Erwärmung in den gut leitfähigen Geweben auftreten. Eine gleichmäßige Durchwärmung des ganzen Körpers kann aus den eben erwähnten Gründen mit der Diathermie nicht erzielt werden.

Anders liegen die Verhältnisse im Kondensatorfeld. Wie schon bereits erwähnt, entsteht zwischen den Kondensatorplatten ein elektrisches Kraftfeld, das umso größer ist, je kleiner die Wellenlängen werden. Wird in ein Kondensatorfeld ein Dielektrikum hineingebracht, so tritt in diesem Dielektrikum Wärme auf, die durch den im Dielektrikum neben dem Verschiebungsstrom noch auftretenden Leitungsstrom entsteht. Voraussetzung ist, daß es sich bei dem gewählten Dielektrikum nicht um einen sehr guten Leiter oder um einen Isolator handelt. Beim ersteren kann wegen der guten Leitfähigkeit kein Spannungsunterschied zustandekommen; es erfolgt ein sofortiger Ausgleich, der das Entstehen eines elektrischen Kraftfeldes verhindert. Bei letzterem kann sich wohl ein elektrisches Kraftfeld bilden, ein Ausgleich kann nicht erfolgen, ein Leitungsstrom überhaupt nicht auftreten. „In Halbleitern schließlich bildet sich ein Feld von besonderer Art mit nur teilweisem Spannungsausgleich, wobei die Ladungen der Ionen und die Ionenwanderungsgeschwindigkeiten die wichtigste Rolle spielen. Jedes elektrisch geladene Teilchen in einem solchen Halbleiter, das überhaupt im Bereich des Feldes liegt, erfährt eine Beeinflussung, die nur von seinem physikalisch-chemischen Aufbau abhängt. Daraus ergibt sich, daß in einem derartigen Medium die Feldwirkung im

Inneren ebenso groß sein muß wie an den Oberflächen, die den Kondensatorplatten zugekehrt sind". (Schliephake)

Aus diesen Tatsachen heraus wird es verständlich, daß abgesehen von der noch später zu erörternden angenommenen „biologischen Wirkung" eine gleichmäßige Durchwärmung nur mit Hilfe des Kondensatorfeldes erreicht werden kann.

Verhalten von Knochensplittern im Kondensatorfeld.

Ein aus dem Zusammenhang des Knochens gebrachtes Knochengewebsstück, das seiner Knochenhaut beraubt ist, wirkt im Gewebe als Fremdkörper. Der lebende Körper sucht sich dieses Fremdkörpers zu entledigen, indem das von Knochenhaut befreite Knochenstück, das nun abstirbt, dem Abbau anheimfällt.

Der Abbauvorgang wird angeregt durch den Reiz von Zerfallsprodukten des zugrundegehenden Knochenstückes. Es kommt zu Änderungen der Blutverteilung, zu starker Blutfüllung der Gefäße und Durchsäftung des angrenzenden Weichgewebes. Dabei wird durch die Wirkung von osteoblastischen Zellen das Knochengewebe angegriffen und vom Rand aus aufgesogen. Dieser ganze Vorgang geht unter der Entwicklung eines an Kapillarsprossen reichen, jugendlichen fibrosen Gewebes vor sich. Ein Teil der osteoklastischen Zellen ist riesig groß, durch zahlreiche Kerne ausgezeichnet. Man könnte sie durch Fremdkörperriesenzellen etwa vergleichen. Aber auch einkernige kleine Zellen nehmen am Knochenabbau teil.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß für den Abbau eines Knochensplitters eine Reihe von Vorbedingungen erfüllt werden müssen. Ehe ein Abbau einsetzen kann, muß um den Knochensplitter herum eine vermehrte Durchblutung auftreten, die von einer Mobilisation osteoklastischer Zellen gefolgt ist.

Wie wir bereits erwähnt haben, besteht mittels des elektrischen Kondensatorfeldes die Möglichkeit, einen Körper gleichmäßig zu durchfluten und auch gleichmäßig zu durchwärmen. Da die Wärme wohl das einfachste Mittel zur Erreichung einer vermehrten Durchblutung ist, die ihrerseits wieder eine der wichtigsten Vorbedingungen für das Einsetzen der Abbauvorgänge abgibt, ist der Versuch, mit Hilfe des Kondensatorfeldes diese Wärme zu erzeugen, durchaus gerechtfertigt. Allerdings darf die Wärme nicht so stark sein, daß sie die Abbauvorgänge durch Schädigung der vordringenden Gefäßsprossen, Freßzellen und Bindegewebszellen zu hemmen imstande ist.

Mit Hilfe der Kurzwellen ist man in der Lage, wie die Pflomm'schen Versuche zeigen, auch ohne das Auftreten einer nennenswerten Wärme im Gewebe eine Steigerung der Tiefendurchblutung zu er-

halten. Aus den Pflomm'schen Versuchen geht hervor, daß bei Behandlung im Kondensatorfeld die Gefäße, vor allen Dingen die Kapillaren, eine starke Erweiterung erfahren. Diese Erweiterung, die bis zu 14 Tage nach der Bestrahlung nachgewiesen werden konnte und das Zehnfache des normalen Gefäßquerschnittes erreichen kann, zeigt noch die Eigentümlichkeit, daß sie auf Adrenalin nicht zurückgeht, während die durch Wärme erweiterten Kapillare sich auf Adrenalin sofort wieder zusammenziehen. Diese Gefäßerweiterung kann daher nicht auf Wärme allein beruhen und ist eine jener Wirkungen, die man als „biologische Wirkung" der Kurzwellen auffaßt.

Im strömenden Blute dieser durch Kurzwellen erweiterten Gefäße treten wie Pflomm weiter beobachten konnte, die weißen Blutkörperchen sehr zahlreich und wandständig angeordnet auf. Ja es soll sogar nach Schliephake und anderen zu einem „Leukozytensturz" im Augenblick der Bestrahlung kommen, die höchstwahrscheinlich auf die Ansammlung der weißen Blutkörperchen im behandelten Gebiet zurückzuführen sein dürfte.

Aber nicht nur die Zahl der weißen Blutkörperchen nimmt im bestrahlten Gebiet zu. Auch eine Steigerung ihrer Freßtätigkeit wahrscheinlich durch Beeinflussung der Serumeiweißkörper wurde im Kondensatorfeld von Jorns beobachtet.

Kurzwellen zum Abbau von Knochensplittern bzw. von Knochensequestern nutzbar zu machen wurde bei der Behandlung der Osteomyelitis versucht. Schliephake konnte eine beschleunigte Sequestrierung beobachten.

Über den Abbau von Sequestern unter Wirkung von Kurzwellen ist im Schrifttum kaum etwas mitgeteilt. Lob berichtet allerdings, daß eine Auflösung großer Sequester bei der Osteomyelitis, wie durch regelmäßige Röntgenaufnahmen festgestellt wurde, nicht beobachtet wurde. Zu bemerken ist aber, daß Lob die Wärmewirkung und deren Folgeerscheinungen im Gewebe als die Ursache der therapeutischen Wirksamkeit der Kurzwellen ansieht.

Wie im technischen Teile ausgeführt, wird theoretisch im Kondensatorfeld eines Kurzwellensenders ein Körper unabhängig von seinem Widerstand gleichmäßig durchwärmt. Im menschlichen Körper liegen die Verhältnisse insofern anders, als durch die Gewebsflüssigkeiten dauernd ein Teil der Wärme fortgeschafft wird, so daß ein Knochensplitter, der aus dem Kreislauf ausgeschaltet ist, seine Wärme an das Blut nicht abgeben kann und sich infolgedessen stärker erwärmen muß, als die ihn umgebenden Weichteile.

Bei der Bestrahlung im Kondensatorfeld steht uns bis heute noch kein Mittel zur Verfügung, die entstehende Wärme in den einzelnen Geweben einwandfrei zu messen. Man kann bei der Bestrahlung lediglich die subjektive Wärmeempfindung als Maß für die Stärke der Be-

strahlung zugrundelegen. Dabei kann man nicht sagen, wie stark sich die einzelnen Gewebsschichten im Inneren und insbesondere solche, die aus dem Kreislauf ausgeschaltet sind, erwärmen. Es ist denkbar, daß eine an der Haut grade noch als angenehm empfundene Wärme im Knochensplitter bereits so stark ist, daß jede proliferative Zelltätigkeit und die übrigen aktiven Abbauvorgänge unterbunden werden.

Auf Grund dieser Überlegungen wird man von den Kurzwellen eine Steigerung der Abbauvorgänge an einem Knochensplitter unter der Bedingung erwarten können, daß man mit Feldstärken zu bestrahlen versucht, bei denen die rein biologische Wirkung der Kurzwellen, wie sie auf die Gefäße im Sinne einer Steigerung der Durchblutung, auf die Tätigkeit der Zellen im Sinne einer Steigerung der Freßtätigkeit wie sie von Pflomm, Jorns, Liebesny und Schliephake nachgewiesen wurden, noch zur Geltung kommt; eine nennenswerte Erwärmung des Knochensplitters aber vermieden wird.

Versuche.

Es soll nun an einer Reihe von Versuchen der Einfluß der Kurzwellen auf die Abbauvorgänge periostloser Knochensplitter im Gewebe röntgenologisch und makroskopisch beobachtet werden.

Zu den im folgenden beschriebenen Versuchen wurde ein Ultra-Pandoros Kurzwellenapparat der Siemens-Reiniger Werke, Berlin, verwendet. Der Apparat besitzt einen verstellbaren Wellenbereich von 3 bis 15 m. Bestrahlt wurde mit einer Wellenlänge von 3,7 m.

Um eine übermäßige Erwärmung zu vermeiden, wurde nach vorhergehenden Selbstversuchen eine Feldstärke gewählt, bei der keine subjektive Wärmeempfindung auftrat, bei der aber ein Kraftfeld, wie man sich durch das Aufleuchten eines mit verdünnten Heliums gefüllten Röhrchens überzeugen konnte, zwischen den Elektrodenplatten vorhanden war. Diese Feldstärke wurde bei einer Heizspannung von 17,5 Volt und einem Plattenabstand von 2 m vom Objekt bei 13 cm Plattendurchmesser erreicht.

Um eine zuverlässige Vergleichsmöglichkeit bestrahlter und unbestrahlter Fälle zu erhalten, wurde bei den Versuchen, bei denen wir mit kleinen Feldstärken, ohne Auftreten einer wahrnehmbaren Wärme bestrahlten, die Vergleichsbefunde am gleichen Tier erhoben. Periostlose Knochenstücke wurden nach Entnahme aus der Tibia in eine Muskeltasche der Adduktoren beider Hinterbeine eingepflanzt. Bestrahlt wurde immer ein Bein, während das andere nicht bestrahlt wurde und zum Vergleich diente.

Die Versuche wurden an Hunden durchgeführt, nachdem an einer Reihe von Kaninchen die Bestrahlungen nicht zu eindeutigen Ergebnissen geführt hatten. Bei den Kaninchen wurde ein 1 cm langes Knochenstück aus der Tibia beiderseits herausgenommen und in die Adduktoren verpflanzt. Wegen der Kleinheit der Knochenstückchen und der dauernd wechselnden Projektionsverhältnisse bei den Röntgenaufnahmen bedingt durch die Unruhe der Tiere, lagen die Verhältnisse so ungünstig, daß Vergleiche nicht gut möglich waren. Auch ließen sich die Bestrahlungen nur unter großen Schwierigkeiten vornehmen, da man es nicht wagen konnte, wegen der zu großen Belastung des Organismus, die Tiere in Narkose zu bestrahlen.

Bei den Versuchen an Hunden lagen die Verhältnisse bedeutend günstiger. Es wurde eine Reihe von 4 Hunden bestrahlt.

Versuch 1: von einem 6 cm langen Hautschnitt aus wurde beiderseits ein 2,8 cm langes, 0,9 cm breites und 0,2 cm dickes Knochenstück aus der Tibia herausgesägt. Das vom Periost befreite Knochenstück wurde dann in das untere Drittel des Oberschenkels in die Adduktoren verpflanzt. (Abb. 1)

Linkes Bein Rechtes Bein

Abb. 1

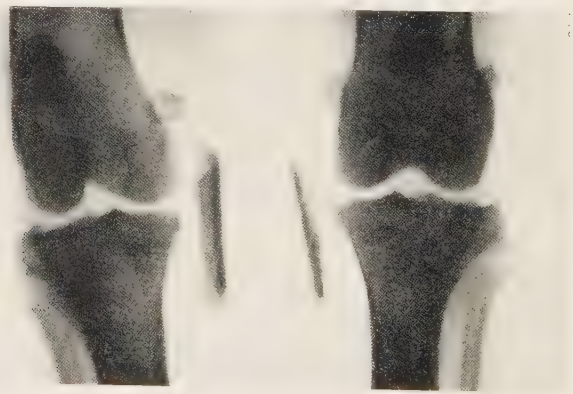
Nach einer Woche wurde mit den Bestrahlungen begonnen. Bestrahlt wurde das ins rechte Bein eingepflanzte Knochenstück mit einer Welle von 3,7 m Länge bei einer Heizröhrenspannung von 17,5 Volt, einem Plattenabstand von 2 cm, bei einem Plattendurchmesser von 13 cm und einer Bestrahlungszeit von 10 Minuten.

Nach 10 Bestrahlungen, die innerhalb von 10 Tagen durchgeführt wurden, zeigte die Röntgenaufnahme noch keinen wesentlichen Unterschied gegenüber dem nicht bestrahlten Knochenstück (Abb. 2).

Linkes Bein Rechtes Bein

Abb. 2

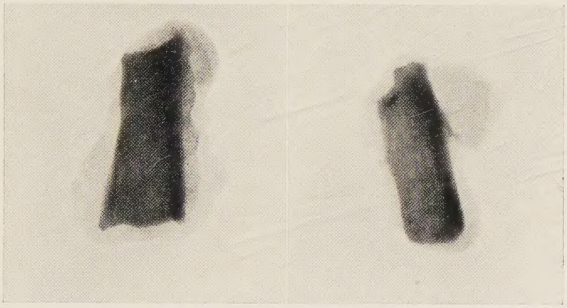
Nach weiteren 10 Bestrahlungen innerhalb der nächsten 14 Tage war auf dem Röntgenbilde bereits eine Auflockerung am bestrahlten Knochenstück zu sehen. Auch erscheinen auf diesem Bilde die Knochengrenzen des bestrahlten Knochenstücks unscharf, an einigen Stellen gezähnelt und die Ecken abgerundet (Abb. 3).



Linkes Bein Rechtes Bein

Abb. 3

Jetzt wurde mit den Bestrahlungen aufgehört. Acht Tage später wurden die Knochensplitter herausgenommen und zunächst noch einmal nebeneinander röntgenologisch aufgenommen (Abb. 4). Auf dieser Aufnahme ist das bestrahlte Knochenstück in seiner Zeichnung weniger dicht als das nicht bestrahlte. Die Knochenränder erscheinen weniger scharf, die Kanten sind abgerundet.



Linkes Bein Rechtes Bein

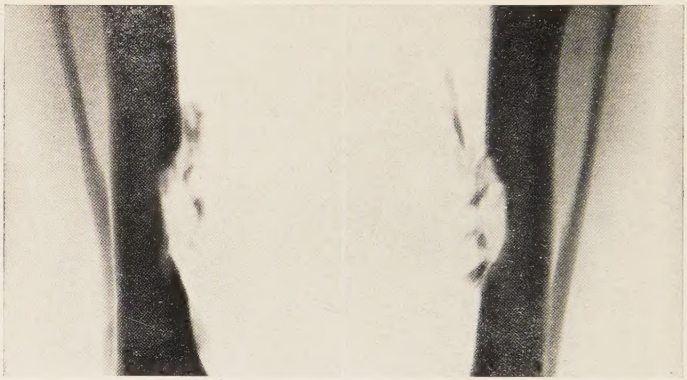
Abb. 4

Auch makroskopisch war das bestrahlte Knochenstück dünner als das unbestrahlte. Die Oberfläche war rauh, während die dem Mark zugekehrte Seite stark aufgelockert ist. Die Kanten sind abgerundet und leicht gezähnelt.

Das unbestrahlte Knochenstück ist viel kompakter und erheblich dicker; die Oberfläche glatter, die dem Mark zugekehrte Seite nur wenig aufgelockert.

Der *2. Versuch* wurde in genau der gleichen Weise durchgeführt wie der erste. Die Röntgenaufnahmen nach 10 Bestrahlungen zeigten noch keine nennenswerten Unterschiede in der Dichte des Knochengefüges. Dagegen waren die Knochenränder schon etwas stumpfer und die Ecken bereits abgerundet. Nach weiteren 10 Bestrahlungen waren diese Unterschiede noch etwas deutlicher.

Bei dem *3. Versuch* wurde nicht mehr wie bei den beiden anderen Versuchen ein einziges Knochenstück verpflanzt, sondern von einem medial gelegenen Längsschnitt wurde ein 1,5 cm langer Anteil der Tibia stückweise bis zum Knochenmark abgetragen. Die abgetragenen Knochenteilchen wurden nach Periost- und Fasciennaht ins Unterhautzellgewebe eingepfanzt (Abb. 5).

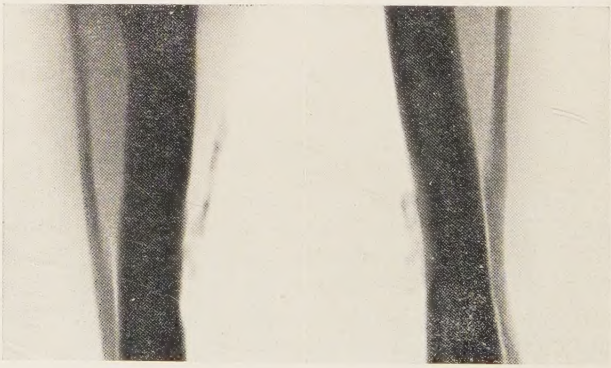


Rechtes Bein Linkes Bein

Abb. 5

Eine Woche nach der Operation wurde mit den Bestrahlungen begonnen und im Laufe der nächsten 4 Wochen wurden die Knochensplitter insgesamt 20 mal bestrahlt.

Die Röntgenkontrollen ließen, wie Abb. 6 zeigt, einen ganz leicht beschleunigten Abbau im bestrahlten Gebiet gegenüber der unbestrahlten Seite erkennen.

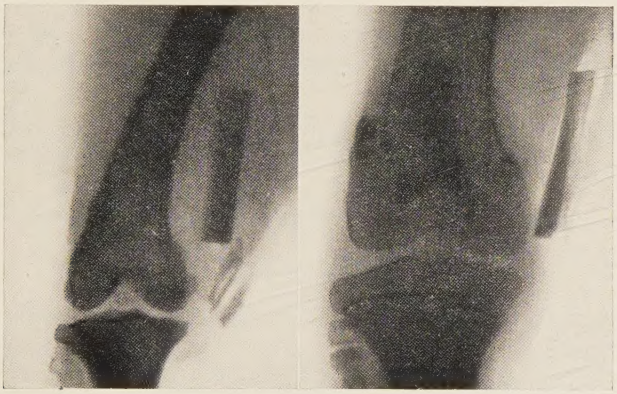


Linkes Bein Rechtes Bein

Abb. 6

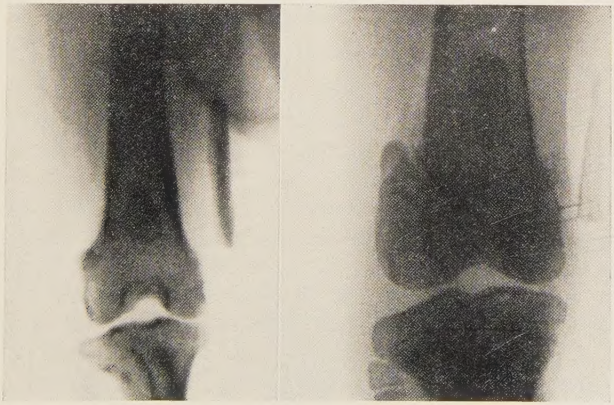
4 Wochen nach Absetzen der Bestrahlungen war nach operativer Freilegung im bestrahlten Gebiet von den Knochensplittern fast nichts mehr nachzuweisen, während am unbestrahlten Bein, noch einige kleine Knochensplitter herausgeholt werden konnten.

Beim *4. Versuch* (Abb. 7) wurde eine Änderung in der Versuchsanordnung insofern vorgenommen, als die Feldstärke im Kondensatorfeld soweit erhöht wurde, daß eine deutlich fühlbare Wärme auftrat. Die Heizspannung betrug bei diesem Versuch 18,5 Volt.



Versuchstier Abb. 7 Vergleichstier

Da wegen der räumlichen Nähe bei den hohen Feldstärken eine Beeinflussung auch des anderen Beines nicht zu vermeiden war, wurde bei diesem Versuch nur ein Bein vorbehandelt und bestrahlt. Als Vergleich diente ein anderes unter den gleichen Bedingungen vorbehandeltes Versuchstier, das aber nicht bestrahlt wurde. Nach 20 Bestrahlungen war im bestrahlten Gebiet die Knochenstruktur dichter als im unbestrahlten. Die Abbauvorgänge waren also bedeutend schlechter (Abb. 8).



Versuchstier Abb. 8 Vergleichstier

Ergebnis.

Diese Versuche, die mit einer 3,7 m Welle durchgeführt wurden, lassen folgende Schlußfolgerung zu:

1. Unter der Einwirkung der Kurzwellen auf periostlose Knochensplitter tritt bei Feldstärken, die nicht imstande sind, eine wahrnehmbare Erwärmung herbeizuführen, eine Beschleunigung der Abbauvorgänge ein.
2. Bei Feldstärken, bei denen eine subjektiv nachweisbare Erwärmung zustandekommt, sind die Abbauvorgänge deutlich gehemmt.

Schrifttum.

1. Fritsch und Schubart: Einführung in die Kurzwellentherapie. 1935. S. 6.
2. Graetz: Die Elektrizität und ihre Anwendungen. 1928. S. 300.
3. Jorns: Bruns Beiträge zur klinischen Chirurgie. Bd. 159, S. 1.
4. Kowarschik: Elektrotherapie. 1923.
5. Liebesny: Kurz- und Ultrakurzwellen. Sonderbände zur Strahlentherapie. Bd. 19, 1935. Strahlentherapie. Bd. 45, S. 329.
6. Lob: Münch. Med. Wochenschrift. 1934. S. 1812.
7. Pflomm: Arch. klin. Chirurg. 166, S. 251. 1931.
8. Schliephake: Kurzwellentherapie. 1935. Strahlentherapie. Bd. 52. S. 193. Die Medizinische Welt. Nr. 22, S. 691.
9. Sternberg: Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie. S. 128.

Lebenslauf.

Ich bin am 13. Juli 1910 in Hohenrode als Sohn des Kaufmanns Heinrich Rinne geboren. Nach Besuch der Volksschule zu Hohenrode und des Gymnasiums zu Rinteln bestand ich Frühjahr 1930 die Reifeprüfung. Arbeitete 6 Monate als Hochschulpraktikant auf dem Peiner Walzwerk in Peine. Studierte im Wintersemester 1930/31 an der technischen Hochschule Hannover. Von Frühjahr 1931 bis Frühjahr 1936 studierte ich in Göttingen, München, Greifswald, Berlin und Freiburg Medizin und bestand am 20. Juni 1936 die ärztliche Prüfung in Göttingen. Vom 1. Juli 1936 bis 30. November 1936 war ich als Medizinalpraktikant an der Medizinischen Universitäts-Klinik zu Göttingen. Seit dem 1. Dezember 1936 bin ich als Medizinalpraktikant an der Chirurgischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses Siloah in Hannover tätig.